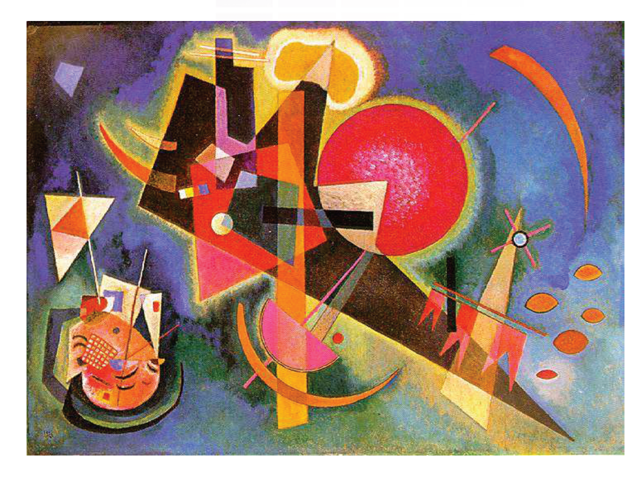
Измерительные системы технического цветоведения



П.П. Новосельцев

ООО "Данвэл+",
г. Серпухов Московской обл.

При непредвзятом рассмотрении цветовых явлений становится очевидным, что слово "цвет" используется для обозначения трёх совершенно разных феноменов: свойства излучения; свойства объекта; свойства зрительного восприятия.

Когда одним словом обозначаются разные явления, неизбежно возникает путаница и противоречия в определениях. Избежать этого можно только при условии использования слова "цвет" в специальной литературе в качестве термина, т.е. признания за ним какого-то одного лексического значения из всех возможных в русском языке. Только прилагательное "цветной" применимо совершенно свободно, т.к. оно всего лишь общее обозначение области реальности, к которой принадлежат разные феномены. Но все собственно феномены, обозначаемые существительным, должны быть определены максимально чётко и применяться строго в своем контексте.

Для того чтобы можно было содержательно рассуждать о зрении вообще, цветовом зрении и колориметрии, прежде приходится сформулировать несколько самых общих положений, лежащих в основе определений этой предметной области естествознания и её терминологии. Они суммируют опыт нескольких веков в изучении данной области познания.

1. Зрительное ощущение обусловлено воздействием света на глаз. Оптическая система глаза проецирует изображение внешних предметов на светочувствительный слой (сетчатку глаза), формируя так называемое "поле наблюдения".

2. Свет есть видимое электромагнитное излучение различного состава. Излучение сложного состава может быть представлено как смесь в неких пропорциях элементарных излучений. Элементарное излучение – это излучение, характеризуемое одной длиной волны излучения или достаточно узким интервалом длин волн. Разные излучения могут сравниваться по мощности и составу.

3. Все сенсорные системы человека, в том числе и зрительная система, реагируют только на изменение сигнала-стимула. Зрительная система реагирует на изменение количества и состава света, попадающего на разные участки поля зрения. Поэтому "... для того, чтобы возникло зрительное восприятие, сетчатка должна смещаться относительно рассматриваемого объекта..." и "... для того, чтобы возникло зрительное восприятие, объект должен обладать некоторой организацией и структурой" [1]. Таким образом, излучение, вызывающее зрительное восприятие, всегда является неоднородным стимулом с точки зрения пространства/времени. Пространственно неоднородный стимул – это изображение.

4. Следует отличать зрительное ощущение как физиологическую реакцию от зрительного восприятия

Ключевые слова: техническое цветоведение; цветовосприятие; цвет; окраска; вид; измерительная система; колориметрия; спецификация



как продукта высшей нервной деятельности. Восприятие всегда сложнее, чем вызывающий его стимул, и поэтому равенство стимулов само по себе ещё недостаточно для равенства восприятий.

5. В высшей нервной деятельности имеет место только результат зрительного восприятия. Механизм возникновения зрительных восприятий очень похож на механизм возникновения условных рефлексов. Зрительные восприятия – это вторичные представления, которые мы принимаем за непосредственные ощущения подобно тому, как условные рефлексы после возникновения часто оказываются очень сходными с безусловными рефлексами.

Терминология

Термин "цветовосприятие". На основе сформулированных ранее положений цветовосприятие следует определить как свойство, способность наблюдателя различать элементы изображения, возникновение которых обусловливается попаданием на сетчатку глаза излучений разной мощности и различного состава. Цветовосприятие по сути субъективно и его результат может быть выражен вовне только как некоторое действие воспринимающего субъекта. Понятно, что цветовое восприятие зависит от всей совокупности свойств субъекта, структуры поля наблюдения, геометрических и спектральных условий освещения, геометрических условий наблюдения, а также от самого процесса наблюдения объекта.

Обычно цветовосприятие определяют как свойство человека. Но возможна и более широкая трактовка. Так, например, можно говорить о цветовосприятии других организмов и даже роботов. Биологи судят о наличии цветовосприятия у живых организмов, если их поведение в эксперименте логичнее всего объясняется исходя из предположения, что они различают окраску объектов. Если робот может анализировать сколь-нибудь сложное изображение по цветовым элементам и в результате совершать те или иные манипуляции, значит, в контексте технического цветоведения, этот робот обладает каким-то цветовосприятием. В общем, объективно цветовосприятие – это реакция живого или неживого наблюдателя на сложное изображение, сформированное в поле наблюдения видимым излучением различного спектрального состава и мощности, исходящего от различных частей наблюдаемых объектов.

Термин "цвет". Итак, цветовосприятие – это свойство некоторого деятеля, выявляемое по его реакциям на световые стимулы. Всякая вещь или феномен рассматривается как совокупность определённых свойств. Для выделения какого-либо свойства в феноменах/предметах необходима операция сравнения [2]. Операция сравнения уже сама по себе предполагает возможность равенства. В частности, если стоит задача выявить некоторое общее свойство человека и бревна, нужно найти способ сравнить эти объекты: например, уравнять их по весу. Следовательно, можно выделить такое общее для бревна и человека свойство, как вес.

Аналогично цвет определяется как некоторое общее свойство разных излучений. В этом смысл определения цвета, данного Н. Д. Нюбергом и зафиксированного в ГОСТ 13088-67 "Колориметрия. Термины, буквенные обозначения":

"Цвет есть аффинная векторная величина трёх измерений, выражающая свойство, общее всем спектральным составам излучения, визуально неразличимым в колориметрических условиях наблюдения. Под словом "излучение" следует понимать также свет, отражённый и пропускаемый несамосветящимися телами. Примечание: колориметрические условия наблюдения – физические условия визуального сравнения, в которых любые одинаковые по спектральному составу излучения неразличимы глазом."

Если, не искажая смысла, немного перефразировать определение Нюберга, получается, что цвет – это свойство, общее для всех спектральных составов излучений, визуально неразличимых в колориметрических условиях наблюдения, которое может быть выражено математически через аффинную величину трёх измерений. Или что иногда имеется возможность визуально уравнять излучения разного спектрального состава. Или что у разных излучений есть свойство (одно из многих других), по которому они могут быть визуально уравнены. Такое свойство называют цветом.

Выражение "уравнены визуально" означает, что сравнение излучений должно осуществляется либо человеком с нормальным цветовым зрением, либо посредством физического приёмника излучения, имеющего стандартную функцию отклика, соответствующую так называемому "стандартному колориметрическому наблюдателю". Стандартный колориметрический наблюдатель столь же объективен, сколь и любой другой эталон измерений, например метр или локоть – старинная русская мера длины. Поэтому, в контексте колориметрии "цвет", в отличие от "цветовосприятия", есть объективное свойство излучения, не зависящее

от конкретного человека или устройства иного "наблюдателя", реагирующего на излучение.

В связи с изложенным уместно упомянуть также о таком часто используемом термине как "метамеризм цвета". Метамеризм цвета в конечном счёте обусловлен тем что, излучения, имеющие различный спектральный состав, могут иногда быть "уравнены визуально", т.е. иметь одинаковый цвет. Часто в противовес излучениям одного спектрального состава и соответственно одинакового цвета, получившим название изомерных, в англоязычной литературе одинаковые по цвету, но различные по составу излучения называют метамерными. В этом смысле под метамеризмом понимают свойство излучений иметь цвет как особую характеристику. Поэтому термин "метамеризм цвета" является лишним. Метамеризм всегда связан с ситуацией сравнения двух объектов в изменяющихся условиях "наблюдения". (Слово *наблюдение* взято в кавычки, чтобы подчеркнуть, что в данном контексте оно в равной степени относится и к живым наблюдателям и к измерительным приборам. – *Авт.*)

Таким образом, "метамеризм" – это понятие, используемое для констатации факта нарушения цветового равенства, обусловленного изменением условий наблюдения по сравнению с теми условиями, в которых такое равенство было установлено.

Термин "окраска". Разным по форме предметам может быть присуще некоторое свойство, по которому их допустимо сравнить и в отдельных случаях уравнять визуально. Например, если разбить кусок цветного стекла, неодинаковые по массе и форме осколки на вид сохранят некое сходство, а именно в окраске. Утверждение о существовании какого-либо сходства, т.е. возможного равенства, эквивалентно утверждению о существовании некоторого особого свойства.

Таким образом, окраска – это свойство предметов, по которому их можно уравнять визуально в определённых геометрических условиях освещения и наблюдения. Если опустить конец определения ("в определённых геометрических условиях освещения и наблюдения"), оно превращается в определение свойства "форма". Предметы могут быть визуально схожими либо по форме, либо по окраске, либо по форме и по окраске одновременно. В данном случае словосочетание "уравнены визуально" означает, что сравнение предметов ведётся на основании оценки исходящего от них видимого излучения, т.е. цвета. Если два объекта одинаковой формы неразличимы в данных геометрических условиях освещения и наблюдения, то в этих условиях они имеют одинаковую окраску. Исходя из этого, для того чтобы дать строгую дефиницию окраски как свойства предметов, необходимо ввести дополнительный термин – геометрические условия освещения и наблюдения. "Геометрические условия освещения" – это пространственное распределение падающего на объекты излучения. "Геометрические условия наблюдения" – это оптическая конфигурация приёмника излучения и взаимное расположение приёмника излучения и объекта, от которого это излучение исходит.

Нужно подчеркнуть, что окраска – это свойство именно предметов, а не излучения. Но поскольку оно оценивается визуально, через цвет излучения, то такие совершенно разные феномены как "окраска" и "цвет" часто путают. Известно, что мощность и состав отражаемого или пропускаемого предметом света (т.е. цвет) зависят не только от поглощательных свойств вещества, из которого состоит предмет, но и от геометрических характеристик самого предмета и геометрических условий освещения/наблюдения. Все реальные предметы по-разному перераспределяют падающее на них излучение в разных направлениях. Окраска предметов обусловлена совместным действием двух факторов: способностью предметов избирательно поглощать и избирательно перенаправлять падающий на них свет.

Под такое объяснение причин окраски подпадают и интерференционные окраски, которые не связаны с поглощением излучения. С колориметрической точки зрения один и тот же предмет имеет бесконечно много схожих, но всё-таки разных окрасок в зависимости от геометрических условий освещения/наблюдения. Предмет, окрашенный интерференционными пигментами, имеет бесконечно много существенно разных окрасок. Мы видим разную окраску при наблюдении по-разному освещённых поверхностей одного того же объекта и при наблюдении одной и той же поверхности под разными углами. Если измерить образец на спектроколориметрах с разной оптической геометрией измерения, то будут получены разные, иногда очень значительно отличающиеся, цветовые характеристики. Поэтому в отношении предметов правильнее говорить о "приборном контроле окраски", а не о "приборном контроле цвета".

Следует также понимать, что окраска – это, как уже говорилось, свойство предметов, а не особенность их цветовосприятия. Когда на визуальном колориметре изме-



ряют цвет излучения, получают не цветовой тон, а всего лишь набор 3 чисел – цветовых координат. Когда же измеряют "окраску", получают набор 3 цветовых координат, но с учётом геометрических характеристик освещения и наблюдения. Всегда полезно помнить, что наглядные представления живого наблюдателя о цветовом тоне, насыщенности и т. п. не являются физическими характеристиками ни цвета [3], ни окраски. Выражение "красный помидор" объективно означает, что сочетание окраски данного помидора с данным освещением даёт в результате отражённый свет, который вызывает у большинства наблюдателей восприятие, в русском языке описываемое словом "красный". Объективные цветовые характеристики, получаемые с помощью приборных систем цветовой спецификации и носящие названия "цветовой тон", "насыщенность", "светлота", "чистота тона" и другие являются приблизительными коррелятами цветовосприятий человека, найденными для конкретного и весьма ограниченного набора условий наблюдений.

Термин "вид". Этот термин практически не встречается в русскоязычной литературе по колориметрии. Между тем, он входит в название одного из основных международных колориметрических стандартов: ASTM E284-07. Стандартная терминология описания вида (*англ.* Standard Terminology of Appearance). Сам термин "appearance" в теле стандарта разъясняется следующим образом: "(1) [вид] объекта, обобщение визуальных аспектов восприятия объекта или сцены; (2) воспринимаемый [вид], визуальное восприятие объекта, включающее размер, форму, цвет, текстуру, блеск, прозрачность, непрозрачность и т. д., раздельное или обобщённое". Ввиду многозначности и двусмысленности такое определение вряд ли можно признать терминологическим. Представляется, что более продуктивно строить дефиницию термина "вид" аналогично определениям рассмотренных ранее терминов.

Вид – это свойство предметов, по которому предметы могут быть уравнены визуально для всех возможных геометрических условий освещения и наблюдения. Если два объекта, одинаковых по форме и размеру, неразличимы для всех возможных геометрических условий освещения и наблюдения, то они имеют одинаковый вид. В процессе сопоставления определений терминов "вид" и "окраска", становится ясно, что вид есть совокупность всех возможных вариантов окраски объекта для различных геометрических условий освещения и наблюдения. Поскольку форму любого предмета образует его поверхность, под окраской и видом предмета следует понимать прежде всего окраску и вид поверхности предмета.

Приведённые определения цвета, окраски и вида характеризуют собственные свойства излучений и объектов без учёта их окружения. Цветовосприятие, напротив, всегда связано с изображением в целом. Цветовосприятие отдельного элемента изображения не может быть точно определено (спрогнозировано) вне зависимости от цветовых характеристик смежных областей поля наблюдения.

Техническое цветоведение как совокупность систем цветовой спецификации

Техническое цветоведение – это отрасль знания, которая изучает связь между цветовосприятием как субъективным свойством человека и окраской или видом как объективным свойством наблюдаемых человеком предметов. Задачей технического цветоведения является прогнозирование цветовосприятия, т. е. реакции наблюдателя в некоторых типовых условиях визуальных оценок. Примером такой формализованной реакции может служить согласие/несогласие наблюдателя признать цветовое различие в паре предъявляемых образцов приемлемым/неприемлемым. Понятно, что структура визуального эксперимента часто гораздо сложнее, а реакции наблюдателя соответственно не столь однозначны.

Практическое значение приведённых в первом разделе статьи определений заключается в том, что различение цветовых феноменов является ключом к пониманию технического цветоведения как единства систем спецификации цвета, окраски, вида и цветовосприятия. Системы цветовых спецификаций типизируются в соответствии с рассмотренными феноменами (и сообразно с этим выделяются разделы технического цветоведения), а именно:

– система спецификации цвета (классическая колориметрия);

– система спецификации окраски (приборная колориметрия с одной геометрией измерения);

– система спецификации вида (приборная гониоколориметрия);

– системы спецификации цветовосприятий (цветовые атласы и другие наборы физических образцов окраски, а также колориметрия изображений).

С точки зрения общей теории измерений, различные системы цветовой спецификации представляют собой измерительные шкалы разной мощности. В общей теории из-

мерение определяется как приписывание символов объектам или событиям согласно некоторым правилам. Тот факт, что символы могут быть приписаны по разным правилам, приводит к существованию различных типов шкал и различных типов измерений [4, 5]. Шкала, по существу, является проекцией отношений между элементами эмпирической системы на отношения между элементами символьной системы. Такое отображение должно быть изоморфным, т. е. отношения множества символов обязаны воспроизводить отношения между элементами эмпирического множества "фактов". Строгие определения терминов "отношение" и "изоморфность отображения" в приложении к теории измерений можно найти в работах [5, 6].

Системы измерений цветовосприятий при помощи образцов окраски. В повседневных ситуациях детализированная спецификация цветовосприятия осуществляется посредством ссылки на характерную окраску различных естественных объектов, которые в обычных условиях наблюдения вызывают у разных наблюдателей одинаковые реакции. Имеются примеры построения шкалы наименований путём конструирования её из отдельных лингвистических единиц [7]. Однако для измерения цветовосприятий они не могут быть использованы без иллюстрации наименований физическими образцами. Сомнительно, что разные наблюдатели выберут имя "влюблённая лягушка" для одного и того же объекта в ряду объектов с различной и, вероятно, зеленоватой окраской.

Средства измерений цветовосприятий, использующие цифробуквенные обозначения, типа каталогов RAL или Panton являются по сути компактными коллекциями образцов поверхностей предметов (окрасок) и представляют собой номинальные шкалы измерений. Для таких, самых слабых, измерительных шкал выполняется только одно отношение – "эквивалентности" [8].

Со временем анализ совокупности возможных цветовосприятий посредством наблюдения разнообразных окрасок привёл заинтересованных исследователей к пониманию того, что от любого цветового восприятия к любому другому можно перейти постепенно, путём небольших изменений разных признаков окраски. Уяснение этого факта создало предпосылки к созданию более универсальных шкал для измерения цветовосприятий предметов – цветовых атласов. Такие шкалы претерпели многовековую эволюцию [9]: современные цветовые атласы стали возможны только с развитием технологии окрашивания предметов.

В трёхмерном пространстве 3 признака цветовосприятия можно представить наглядно в виде рядов образцов окраски монотонно упорядоченных по одному из качеств восприятия. Чаще всего выделяют такие качества цветовосприятий, как светлота, цветовой тон и насыщенность. Упорядоченный трёхмерный массив образов окрасок принято называть цветовым телом, которое является наглядной иллюстрацией цветового пространства как логической формы, объективирующей цветовосприятие. Взаимное расположение образцов внутри цветового тела и соответственно выделяемые в цветовом пространстве направления (или психологические модальности) в разных атласах различаются в зависимости от исходных установок, выбранных разработчиками атласов для упорядочивания образцов окрасок.

В отличие от произвольного набора окрашенных образов (типа каталога RAL) каждый из рядов цветовой системы (атласа) представляет собой порядковую шкалу измерений. На порядковой шкале выполняются уже два типа отношений – "эквивалентности" и "порядка". Все разработчики цветовых атласов делали попытки создать ещё более мощную цветовую измерительную шкалу – шкалу интервалов. Такая шкала давала бы возможность устанавливать равенство попарных различий между двумя цветовосприятиями, иначе говоря, определять равенство субъективных интервалов. В наибольшей степени этого удалось достичь Альберту Манселлу. Создавая свою систему цветовых координат, Манселл стремился добиться равенства восприятия цветового различия между центральным и двумя соседними образцами окрасок в каждом из вводящих координаты цвета рядов – "цветовом тоне по Манселлу", "насыщенности по Манселлу", "светлоте по Манселлу". Можно признать, что локально – для соседних образцов – это условие в атласе Манселла выполняется. Но ни для одного из существующих атласов это условие не выполняется по всему объёму цветового тела и, вероятнее всего, выполнено быть не может.

Точность измерения цветовосприятий посредством цветовых атласов определяется количеством образцов окраски и равномерностью их распределения по всему объёму цветового тела, а надёжность – надёжностью воспроизведения образцов окраски и их устойчивостью к внешним воздействиям. Существо-



вание подобных систем измерений цветовосприятия позволяет обнаружить более тесную связь между цветовосприятием и окраской. Самым непосредственным образом это связь устанавливается простым измерением образцов атласа спектроколориметром. Если обобщить достаточное количество таких измерений, то можно построить таблицы и номограммы, пригодные для пересчёта приборных шкал в шкалы атласов. Такая огромная работа была выполнена для атласа Манселла. Ее результат зафиксирован в стандарте ASTM D 1535-08 "Standard Practice for Specifying Color by the Munsell System" ("Стандартная практика спецификации цветовосприятия по системе Манселла").

Цветовые системы, построенные на атласах, по-английски называются Color Ordering Systems, что в буквальном переводе означает "системы упорядочивания цветов", а в правильном переводе – системы упорядочивания цветовосприятий. Из них наиболее известны цветовая система Манселла, естественная система цветов NCS; система OSA-UCS (*англ.* Optical Society of America Uniform Color Scales). В СССР профессором Е. Б. Рабкиным тоже был создан цветовой атлас, который предлагалось использовать в качестве измерительной системы цвета [10]. Автор атласа чётко не разграничил понятия "цвет", "окраска" и "цветовосприятие". Ошибочное позиционирование этого атласа как недорогого средства, заменяющего приборные измерения цвета, стало, по-видимому, основной причиной превращения его в библиографическую редкость.

Обучение практическому применению цветовых систем сводится к "натаскиванию" на быстрое нахождение места конкретного образца среди других образцов системы и присвоение ему соответствующего кода. Это возможно только в том случае, когда перед глазами у наблюдателя есть реальные образцы, между которыми надо поместить испытуемый образец окраски. Излишне говорить, что, раз цветовосприятие окраски зависит от условий наблюдения, эти условия должны быть предельно подробно регламентированы. В России в отличие от многих других передовых в технологическом отношении стран нет национального стандарта, вводящего ту или иную цветовую систему для спецификации цветовосприятия.

Инструментальные системы измерений цветовосприятий. Ранее в статье отмечалось, что цветовосприятие всегда связано с изображением. Этим объясняется относительная независимость цветовосприятия от цвета, исходящего от отдельных элементов изображения, т. е. константность цветовосприятия. В естественных условиях наблюдения человек узнаёт окраску предметов, несмотря на большой разброс спектральных составов источников света. Отражённый свет меняется при изменении освещения, зависит от его спектрального состава. Поэтому спектральный состав света, исходящего от данной поверхности и попадающего на сетчатку глаза, не является устойчивым признаком поверхности. Устойчивым, интересующим наблюдателя признаком является отражательная способность поверхности (или её окраска), о которой глаз непосредственных сведений не получает. Несмотря на указанную трудность, зрительная система человека хорошо распознаёт окраску предметов в весьма разнообразных условиях освещения. Это явление получило название константности восприятия цвета. Такое узнавание обязательно требует сравнения возбуждений нескольких участков сетчатки [11].

Поэтому для моделирования процесса цветовосприятия необходим прибор, который мог бы одновременно измерять цветовые характеристики смежных элементов изображения и содержал бы некоторый алгоритм обработки этих данных. Цвет кодирует информацию о спектральном составе излучения с потерями. Частично восполнить информацию о спектре излучения, исходящего от конкретного элемента изображения, можно путём совместного анализа цветов от различных участков изображения. На эту идею опирается широко распространённое применение цветовых мишеней типа ColorChecker при цифровой обработке изображений [12]. Однако всеобъемлющую информацию об окраске элемента изображения несёт только полный спектр. В конце 90-х годов прошлого века появились приборы, которые позволяют получать спектральную информацию от элементов изображения с высоким пространственным разрешением [13]. Измерения подобными приборами дают цветовую информацию, достаточную для точного предсказания реакции наблюдателя на изображение в зависимости от условий наблюдения, например, при изменении освещения или фона центрального объекта. В качестве примера применения таких систем можно привести неметамерное цветовоспроизведение картин с использованием прибора TRICOR Imaging Spectrophotometer, который гарантирует правильную цветопередачу при любом освещении.

Система измерения цвета. Измерения цвета как свойства излучения – это область классической

колориметрии, в рамках которой создана модель цветового зрения на физиологическом уровне. Формальным выражением модели служат 3 кривые спектральной чувствительности глаза. Классическая (визуальная) колориметрия сосредоточивалась на изучении апертурных цветов, которые можно наблюдать в окуляре визуального колориметра. Апертурные цвета воспринимаются как пространственно нелокализованные, т.е. не относящиеся к какой-либо поверхности или объекту, цвета. Соответственно в классической колориметрии не учитывается пространственное распределение излучения. Условия наблюдения редуцированы до предельно возможной простоты, тем самым сложность цветовосприятия сводится практически к простоте цветоощущения.

Принцип измерений прост: тестовый цвет визуально уравнивается соответствующим подбором мощности выбранных “основных” излучений*. Три приведённые значения мощности и служат цветовыми координатами тестируемого цвета. Если так измерить все монохроматические света, выделяя их из спектра видимого света в виде полос с определённой шириной пропускания, и уравнять их энергетическую мощность, то совокупность всех координат цвета в виде 3 спектральных кривых будет представлять спектральную кривую чувствительности глаза, выраженную через выбранные базовые (основные) цвета. Такие кривые называются функциями сложения цветов. Определение стандартных функций сложения цветов (т.е. стандартного колориметрического наблюдателя) позволило перейти от визуальной колориметрии к расчётной, когда цвет излучения может быть рассчитан по его спектру.

Упрощённый визуальный эксперимент по уравниванию цветов, лежащий в основе классической колориметрии, порождает числовую интервальную измерительную шкалу. На такой шкале возможны аффинные преобразования. В более популярной форме этот факт формулируется в виде законов Грассмана. Аффинные преобразования допускают в частности пересчёт из одного координатного базиса в другой, что используется в процедурах цветового профилирования согласно стандарту ICC (*англ.* International Color Consortium). Аффинную природу цвета в классической колориметрии можно толковать несколько иначе. Согласно определению цвета и соответствующей ему процедуры, измерение цвета состоит в установлении факта тождества цветов. В результате такой процедуры каждому цвету присваивается тройка чисел и цвет представляется трёхмерным числовым вектором. Но при этом никаким образом в основном колориметрическом эксперименте не определяется различие между цветами. А непосредственно воспринимаемое различие есть психологический аналог математического понятия “расстояние между точками”, представляющими разные цвета. Поэтому цветовое пространство в классической колориметрии является алгебраическим, а не геометрическим, т.е. пространством с упорядоченными элементами, но без правила определения расстояния между ними. Иными словами, основное колориметрическое пространство XYZ – неметрическое, или ненормированное. Вместе с тем разработка аффинного цветового пространства классической колориметрии создала предпосылки для появления инструментальных цветовых пространств с локальной метрикой. Эти производные цветовые пространства опираются на более сложные визуальные эксперименты, но при этом используют основное колориметрическое пространство в качестве исходной базы спецификации цвета. Цветовые пространства с локальной метрикой пытаются моделировать цветовосприятие, т.е. прогнозировать реакции наблюдателя. Самое известное из них – пространство CIELab. Современные локальные метрики (формулы цветового различия), предложенные для этого пространства, позволяют с достаточной для практических целей точностью определять реакцию наблюдателей на величину небольших надпороговых цветовых различий.

Система измерения окраски. Поскольку окраска, определяемая по свету, отражённому объектом в конкретных условиях, зависит от света, которым объект освещается, т.е. от геометрии освещения и наблюдения, то для спецификации окраски недостаточно задать стандартного колориметрического наблюдателя. Кроме него система спецификации окраски должна регламентировать спектральный состав излучения, освещающего образец (стандартные источники излучения), и оптическую геометрию освещения/наблюдения. Кроме того, в основе измерения окраски прозрачных и отражающих образцов лежит понятие цветового тела, т.е. самым светлым всегда является образец белой поверхности, а координаты цвета всех остальных образцов должны быть отнесены к координатам белого образца при заданном источнике освещения. Подобное нормирование отражённого света вполне аналогично

* Основные цвета – 3 цвета, оптическим сложением (смешением) которых в определённых количествах можно получить цвет, визуально (на глаз) совершенно неотличимый от любого данного цвета. Число возможных систем основных цветов бесконечно.





тому, как работает зрительная система человека. “Указание окраски предмета путём сравнения (конечно, бессознательного) с белым предметом можно сравнить с тем, как в лабораторных условиях находят спектральные кривые отражения, т.е. полную физическую характеристику отражающих свойств объекта. Это делается с помощью прибора – спектрофотометра, причём количество света, отражённого исследуемым объектом, сравнивается с тем [количеством света], какое отражает белая поверхность, освещённая одинаково с ним. При узнавании окраски предмета глаз проделывает нечто вполне аналогичное. Глаз реагирует на свет, как бы регистрирует излучения. Сопоставление света, отражённого каким-либо предметом, с тем, какой отражает белый предмет при том же освещении, даёт окраску предмета. В обоих случаях сравниваются излучения, а в результате становятся известными отражающие свойства объектов” [14]. Таким образом, добавление к стандартному колориметрическому наблюдателю стандартизации по геометрии освещения/наблюдения и излучениям наряду с нормированием данных измерений относительно “абсолютно белой” поверхности превращает систему измерений цвета в систему измерений окраски. Естественно, “измерительная сила” обеих систем одинакова.

Стандарт [15] Международной комиссии по освещению (МКО) регламентирует обе эти системы спецификации, не подразделяя их. Системы спецификации МКО отвечают на вопрос: одинаковы или нет два цвета или две окраски в данных конкретных колориметрических условиях?

Системы измерения вида. Согласно данному ранее определению измерение вида опирается на измерение окраски объекта для различных геометрий освещения/наблюдения. В этом случае применяют гониоспектроколориметры, которые измеряют отражённый от образца цвет в зависимости от направления, т.е. с учётом индикатрисы. Окраска поверхности измеряется для конкретной оптической геометрии прибора, которая обязательно указывается наряду с измеренными координатами цвета. Но как измерить вид, если количество возможных геометрий бесконечно? Для практических целей можно ограничиться некоторым достаточно разнообразным набором геометрических условий освещения и наблюдения. В случае окраски измеряют исходящее от образца излучение: для одной оптической геометрии прибора результатом является один набор координат цвета. При измерении вида необходимо получить несколько таких наборов для разных условий освещения и наблюдения, т.е. измерить цвет в различных направлениях при различных условиях освещения.

Интерпретация цвета как точки трёхмерного пространства позволяет в принципе ввести характеристики различия между цветами. Аналогично, если существует алгоритм сведе́ния результатов измерений цвета, исходящего от поверхности, для разных оптических геометрий к однородной величине, то можно ввести характеристику различия между видом двух поверхностей наподобие характеристик цветового различия окрасок, используемых в промышленности в настоящее время. Совсем недавно фирмой X-Rite Inc. был разработан возможный алгоритм, согласно которому вид можно интерпретировать как цветовой тензор 2-го ранга [16].

***

Автор считает, что предлагаемые определения позволяют построить ясную классификацию цветовых измерительных систем и чёткую логическую схему изложения любых вопросов технического цветоведения.

Литература

1. Дьердь А. Восприятие, сознание, память: Размышления биолога / Пер. с англ. – М.: Мир, 1983. – С. 44.
2. Пфанцгаль И. Теория измерений. – М.: Мир, 1976. – С. 11.
3. Нюберг Н. Д. Цвет // Физический энциклопедический словарь. Т. 5: Спектр – Яркость. – М.: Советская энциклопедия, 1966. – С. 385–386.
4. Stevens S. S. On the Theory of Scales of Measurement // Science. – 1946. – V. 103, № 2684.
5. Шрейдер Ю. А. Равенство, сходство, порядок. – М.: Наука, 1971.
6. Суппес П., Зинес Дж. Основы теории измерений // Психологические измерения: Сб. – М.: Мир, 1967.
7. Василевич А. П. и др. Каталог названий цвета в русском языке. – М.: Смысл, 2002.
8. Гусев А. Н. и др. Измерение в психологии: Общий психологический практикум. – М.: Смысл, 1987.
9. Kuehni R. G. Color Space and Its Divisions: Color Order from Antiquity to the Present. – John Wiley & Sons, Inc., Publishers, 2003.
10. Рабкин Е. Б. Атлас цветов. – М.: МедГИЗ, 1956.
11. Нюберг Н. Д. и др. // Биофизика. – 1971. – Т. XVI, вып. 2, 6.
12. The ColorChecker [Электрон. ресурс]/The BabelColor Company – Режим доступа: http://www.babelcolor.com/main_level/ColorChecker.htm, свободный.
13. Патент US 5319472. Multispectral color image pickup system, 1994.
14. Нюберг Н. Д. Лекции по цветоведению, прочитанные студентам Полиграфического техникума // Юстова Е. Н. Колориметрия. Приложение III. – СПб.: Университет, 2003.
15. CIE 15.2–199616. Colorimetry: CIE Techical report. –2^{d} ed.
16. Новосельцев П.П. Новый метод контроля цвета и внешнего вида покрытий // Дизайн. Материалы. Технология. – 2009. – № 4 (11). – С. 170–175.

В оформлении титульной страницы статьи использованы репродукции работ В. Кандинского (1925 г.): “Жёлтое – Красное – Голубое” (вверху), “В голубом” (внизу).